

小特集—現代のニーズに即した魅力ある音響教育—

# 小中学生に対する音響教育\*

荒井隆行 (音響教育調査研究委員会委員長/上智大学)\*\*

43.10.Sv

## 1. はじめに

1960年代、小学校教室の80%が学研の「科学」と「学習」を購読していたという[1]。「科学」の付録教材には「組立・工作」, 「実験」, 「観察」の3要素が取り入れ, 家庭の中でも実験や工作を楽しむ環境があった。昔の付録には複雑な組立, 難しい工作や実験, ややこしい観察なども含まれていたが, 時代は次第に変わり, 現在では安全性が高く, 失敗のない教材を求める方向へと嗜好も変化しているようだ[1]。

理科離れが叫ばれるようになって久しいが, 1995年に実施された国際数学・理科教育調査によれば, 我が国の「理科が好き」という児童・生徒の割合は, 小学4年生で85%と国際平均並みであるものの, 中学2年生では56% (国際平均73%) と調査実施国中最低レベルの結果となっている[2]。また, 1989~96年の国立教育研究所の追跡調査の結果[3]を見ても, 「理科はおもしろい」と思う子どもの割合が学年を追うにしたがって減少していることが分かる。小学校高学年から中学1年では70~80%程度であるのに対して, 中学2年から3年では60~65%, 高校の段階では50~55%前後となっている。

「ゆとりある教育活動」の目標のもと1998年に告示された学習指導要領の改訂で授業時間数が大幅に削減され, 小学校における音の教育内容は削除されて中学校に移行統合された[4,5]。つまり, 小学校の教科書から音に関する単元がなくなり, 中学校のカリキュラムで初めて音について触れることになった[4]。

また, 小中学校などで理科の実験を行う機会が減ってきているのに合わせてか, 各地の博物館や科学館, 大学・高等専門学校や高等学校, 民間の企業までもが大小様々な科学教室を開いており, そこに参加する小中学生も増えている。幅広く様々なテーマで実験やデモンストレーションなどの活動を取り上げる一方, 学習指導要領を意識したカリキュラムを組む科学教室も少なくない (特に学習塾などが開催しているケースなど)。そうした状況の中, 音に関するテーマは必ずしも多いとは言いがたい。

しかし, 子どもが持っている“音に対する興味”に合わせ, もっと早期から音に関する教育を積極的に行っても良いのではないかと思われる。子守唄から音楽, 家族の会話, 窓から聞こえる街の音。音響教育の種は生活の中にあふれており, それを改めて見つめることで科学や工学へ興味を持つきっかけともなり得る。残響のかかる浴室でつい気持ちよく歌ってしまったり, ジュースの瓶を吹いてポーッと音を鳴らしてみたり, といった経験は誰にでもあるだろう。小中学生に対してどのような音響教育があり得るのか, 提案をしていくこともまた本学会としての使命であると考えます。

振り返ってみると, 本学会でも2001年より特別企画実行委員会 (森本政之委員長) を中心に社会への啓蒙活動の一環として, 21世紀音響学講座「いっしょに学ぼう音の不思議」が開催された。主な対象は中高生・一般であるが, 第1回 (2001年8月) と第3回 (2002年4月) は, 大学を会場として音楽, 言語学習, 聴覚, 音にまつわる話題などを紹介。第2回 (2002年1月) は仙台市科学館を会場として, 小学校高学年から高校生を対象に開催。超音波と音声をテーマとした講演のほか, 振動で回転するおもちゃの工作教室 (2.2節参照) や, ヘルムホルツ共鳴器, 音の来る方向が何故分かるか等の公開実験も行われた。そして, 第

\* Education in acoustics for elementary and junior high school students.

\*\* Takayuki Arai (Chair of the Research Committee on Education in Acoustics; Faculty of Science and Technology, Sophia University, Tokyo 102-8554)  
e-mail: arai@sophia.ac.jp

4 回 (2002 年 9 月) は研究発表会の際に特別企画として開催されている。

それと並行して、本学会音響教育調査研究委員会でも、小学校から高等学校までの教科書・教材に関する音響教育の実態調査や、科学館展示物の現地調査・アンケート調査を実施したり、またシンポジウムやスペシャルセッション、デモンストレーションセッションなどを開催しながら音響教育に関する様々な議論を展開させてきた。本稿では小中学生に対する音響教育を考え、また「このようなテーマがあってもいいのではないか?」という実例として、声に関する工作を含む「音の科学教室」の一案を紹介する。

## 2. 博物館・科学館の役割

### 2.1 博物館・科学館における展示の例

博物館や科学館における音に関する展示は、子ども達への音響教育に大きく貢献している。その展示の例については、前述のように本学会音響教育調査研究委員会によって調査が行われている [6]。調査の結果、比較的多いものは、パラボラ集音器、クントの実験 (定在波の可視化)、光のハープ (弦に見立てたレーザなどの光を遮ると音が鳴る展示)、伝声管、オシロスコープによる音の波形の可視化、気柱の共鳴、環境音を聞く装置、可聴周波数範囲を調べる装置、楽器の発音機構を説明する装置、グラドニのパターン、ボイスチェンジャなどである。この調査を踏まえ、日本音響学会誌では「音の博物館」という記事が 2006 年から 2008 年にかけて連載されている [5]。クントの実験 [7] やパラボラ集音器 [8]、伝声管 [9] などの詳細はぜひ記事をご覧ください。

その連載「音の博物館」には、その他の展示物の例として声道模型 [10] が紹介されているが、静岡科学館に私が監修した「発声のしくみ」の展示がある。この科学館の愛称である「る・く・る」は、科学館のキーワード「みる、きく、さわる」の語尾をつなぎ合わせたもので、ここでは我々が開発した声道模型 [11] が子ども達に“見て、聞いて、触って”もらっている。展示では「人間の発声メカニズム」を意識して、声道模型と笛式人工喉頭 (音源) とふいごを組み合わせ、空気を送って母音を出す仕掛けになっている [12]。

静岡科学館は米国カリフォルニア工科大学の下

條信輔先生が総合監修をされており、国内でも有数のリピータの多い科学館である [12]。ほかにも本学会会員が関与した展示があり、例えば、柏野牧夫氏 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所) が監修された「あべこべな耳・うごく耳」など聴覚に関する展示がそうである。

### 2.2 博物館・科学館との連携

Koster (2007) によれば、20 世紀初頭の第 1 世代の博物館は研究成果を集め標本などを展示するのが主流であったのに対し、1960 年代の第 2 世代の博物館では科学リテラシーを促進させる方向へと役割がシフトした。一方 21 世紀に入ると、より良い世界をつくるために社会と連携する第 3 世代の博物館の必要性が叫ばれるようになってきた [13]。

そのような時代の流れに伴い、最近では様々な展示のほか、“hands-on” を重視した体験型の企画や科学教室・工作教室などが盛んになっており、それに合わせるように博物館・科学館と学会との連携も盛んになってきている [5]。例えば国立科学博物館では、毎年夏休みと冬休みに「サイエンススクエア」を開催している。そこでは、実験・観察・工作などのアクティビティを通して、子ども達が楽しみながら学習し、科学への興味や関心を高めると共に、理解を深めることをねらいに定めている。その実現のため、多くの企業や学会、大学・高等専門学校、そして地元地域との共催という形態をとっている。一方、科学技術館を含む全国の科学館では、毎年夏に「青少年のための科学の祭典」を全国規模で開催している。この「科学の祭典」は日本科学技術振興財団の事業の一つで、子ども達が科学技術に親しむ環境を作ることが目的に、科学の魅力を体験する場として 1992 年から続いている。また、米国サンフランシスコにある Exploratorium が行っていた “Iron Science Teacher” が、日本でも 2002 年から「科学の鉄人」として開催されている [14]。全国の教育団体が参加し、サイエンスショーを競い合って、優れた科学教室の実践をお互いに学ぶ機会となっている。

本学会と国立科学博物館との連携は 2006 年に始まり、上野本館でのイベントとして「音の科学教室」を開催している [15] (詳細は 3 節参照)。2007 年の夏には音響教育調査研究委員会を中心にサイエンススクエアにも出展した。「音や振動に親しもう！」と題しての 2 日間であったが、大勢の親子



図-1 サイエンススクエアに出展した日本音響学会のブースの様子 (2007年夏, 国立科学博物館にて)

連れが訪れ大盛況であった(図-1)。佐藤史明副委員長(千葉工業大学)と上野佳奈子幹事(東京大学)を中心とした共鳴現象を体験してみるコーナーでは、楽器や音叉を使った簡単な実験から、クントの実験や共鳴鍋、ガラスハーブの演奏体験まで様々な共鳴現象を体験できるように工夫されていた。実際に触って体験できる展示はいずれも人気で、ガラスハーブの実演を試す子どもも多かったようである。

また、中村健太郎委員(東京工業大学)を中心とした「振動で回転するおもちゃ“ギリギリガリガリ”」[16]を作るコーナーでは、木の角棒に一定間隔で溝を掘り、その先端に自由に回る木板を付ける工作を行った。溝を丸棒でこするとその振動が板の回転を引き起こすのだが、こすり方で回転方向が変わるのが子どもにはまるで手品であり、工作をして持ち帰ることができる嬉しさに加えて、板を回すワザを習得するのに夢中になる姿が大変印象的であった。その原理が超音波モータに応用されているという説明を印刷した紙を一緒に配布することで、帰宅後も親子で学べる工夫がされている。

前島(2007)によると、子ども達にとって各分野で活躍している研究者と接し、直接話が聞けるという点が、博物館としても学会と連携する大きな意義だという[15]。興味があって自発的に来館している子ども達が多いので、研究者と子ども達の関係は、講師と生徒である一方で「同じことが好きな先輩と後輩」とも言える。同じ方向を向き、少し先を行っている研究者の肩越しに、研究者が「面白い」と感じているものを一緒に見るのである。子ども用にレベルを下げて完全に理解できるものを目指す必要はない。子どもにとって理解が

難しくても、専門家一人ひとりが「面白い」と思うことをそのまま見せるところに意味がある。このように前島(2007)は指摘している[15]。

### 2.3 科学教室等での音に関するテーマ

博物館・科学館等が開催する科学教室等において、音に関するテーマはどのようなものがあるかについても、本学会音響教育調査研究委員会の調査結果が文献[6]にある。それによると、調査対象の半数以上で科学教室あるいはそれに類するものが開かれており、テーマとして次のようなものがあげられている：ストロー笛の製作、紙コップと磁石・コイルを用いたスピーカ製作、ガラスハーブの実演、音の出る電子工作、オシロスコープでの声の波形の観測、音叉を使った実験、ペットボトルによる楽器製作など。

最近では博物館・科学館以外にも多くの科学教室等が開かれており、音を扱うものもしばしば見受けられる。上記にあげたテーマ以外に次のようなものがある：ブービー風船・コップを使った笛・ホイッスルの製作、糸電話・バネ電話・風船電話・光電話の製作・実験、管を熱で鳴らす実験、管や金属棒による音階、音速の測定など。

## 3. 「音の科学教室」の一提案

音の中でも「声」は子ども達にも身近なテーマの一つである。母音生成のメカニズムは比較的単純に示すことが可能であるから、身近に「音声に関する音響学」を学べる機会があっても不思議ではない。しかし、本格的に触れることができるような機会は思うほど多くはない。そこで行ったのが、国立科学博物館で開催した「音の科学教室—音のふしぎ・声をつくろう—」(第1回目は2006年10月、第2回目は2007年10月に開催)。第1回目には小学1年生から中学1年生まで11名の児童・生徒が参加した(平均年齢は11.2歳)。なお、本科学教室は、日本音響学会との共催で行われ、運営に当たって本学会音響教育調査研究委員会有志の協力を得た。第1回のプログラムの概要、ならびに取り組みの様子を以下に記す(詳細は[17])。

### 3.1 内容

まず、身近に存在する様々な音を聞かせ、音の正体が振動であることを説明した。実際に音叉に触れて振動を肌で感じてもらうと共に、糸で吊るしたピンポン玉を音叉に接触させると跳ねる様を

見せたり、ハーブの弦が振動する様子をストロボで可視化(スローモーション)するなどした。その後、糸電話やバネ電話 [18] を用いて、音の伝搬や聞こえ方の変化も体験してもらい、直感的に捉えられるように配慮した。

次に、リードやエアリードの発音原理をイラストで簡単に説明した後、一つ目の工作としてフィルム容器とストローを使ったストロー笛 [18] を製作した。二つ目の工作は、楽器の高低がどのように変わるかを観察した後のスライドホイッスルの製作である。発音部、共鳴管(アクリルの筒)、スライド部から成り、筒の中で「スライド部」を移動させることで共鳴部の長さを調節し音程を変化させる構造になっている。発音部には、先ほど工作したストロー笛を使用し、共鳴管には長さ 20 cm、外径 4 cm のアクリルの筒を使用、スライド部を筒の反対側から挿入すると完成である。

子ども達の興味が高まったところで、音声生成の話題に移った。声は他の音とどのように違うか? 音声生成のしくみに関して、我々が開発した肺の模型と頭部形状模型 [19] を使ってデモンストレーションを行いながら説明した。次に、筒型の声道模型 [11] でも発声して見せた。音源フィルタ理論に基づき、母音の韻質を決定する声道形状 [20] を可視化、単純な機構ながら「人間の声」のような音を手軽にデモンストレーションすることが可能である。

その上で、スライド式声道模型 [21] を紹介し、三つ目の工作としてこの声道模型作りに挑戦した。アクリル筒と「狭め(スライド部)」はスライドホイッスルと同じものを用い、新たに「リード式音源」を作って組み合わせた。図-2のように竹とプラスチックシートでリード部を製作、フィルム容器に入れて固定すると完成である。

### 3.2 考 察

この「音の科学教室—音のふしぎ・声をつくろう—」では、対象とした小学校高学年を中心とする子ども達の発達段階も考慮しながら、主に三つのテーマに取り組んだ: 1) 音は「振動」、2) 音の高低はどう決まるか、3) 音声生成のしくみ(声は他の音とどのように違うか)。それぞれのテーマに関して、模型を使ったデモンストレーションや工作を取り入れている(図-3)。原理は理解できないところがあっても体験として直感的に理解し、「お

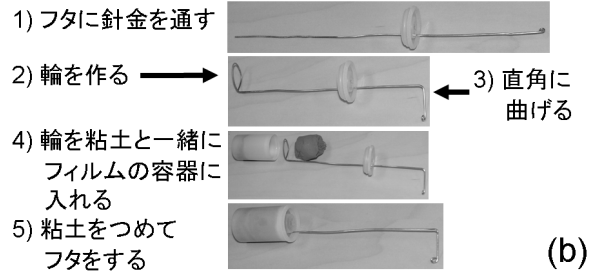
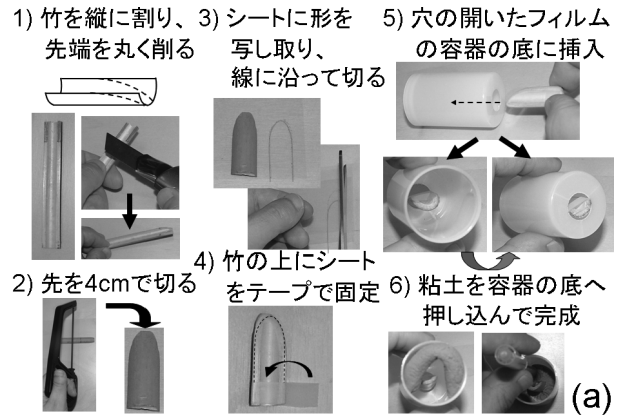


図-2 スライド式声道模型の製作手順  
(a) リード式音源, (b) スライド部, (c) 組立後

もしろい」「不思議だな」「もっと知りたい」「またやってみよう」等、わくわくした気持ちを抱いて帰ってもらえることを目標とした。講義と工作により、理論も現象もまるごと体得することができれば相乗効果が期待できると考えた。

材料は、家庭で簡単に応用ができるようになるべく手軽で安価なものを検討した。例えば、アクリルの筒はラップの芯で代用できる。音源に関しては、簡易模型であっても「音の科学教室」である以上、音質は追求した。一番の課題は「音源」をどのように実現するかにあった。明瞭な母音を作るため、音源の周波数特性が 3 kHz 以上まで伸び、かつ局所的にエネルギーの集中する周波数帯域が存在せず、基本周波数も低めになるよう工夫した。様々な音源を比較した結果、リード式音源を用い、材料には竹とプラスチックシートを用いることとした。竹とシートが接する際に隙間ができないよう仕上げられるかどうか音が大きく左右する [21]。ナイフで鉛筆を削ることもほと

んどない現在、竹をカッタで削っていく作業は、安全面と難易度で不安なところでもある。

初年度の第1回目では、長めの竹を縦に二つに割って配布し、子どもには竹の先端をカッタやヤスリで丸く削ってもらった。音が適切に鳴るようになったらチェックを受け、OKならばアシスタントが長さ調節をした。子ども達のアンケートには「苦勞したのに失敗…」という感想も見受けられたものの、「難しかったけど、やっているうちに楽しくなった」という意見の方が断然多く、こちらの予想以上に皆健闘していた。簡単ではない分、構造や原理についてもより理解できたようであるし、完成したときの達成感も大きかったようである。ただ時間配分を考えたときに、竹を削る作業にそれなりの時間が必要である。時間に余裕がある場合には、削らせるのも良い経験になる。

この反省点を踏まえ、Riesz [22] によるリード式音源の応用も検討した。竹は片方の端が「節」で終わり長さが4cm強ほどになるようにあらかじめ切った上で、縦方向に二つに割っておく。割った面は平らになるようにヤスリをかけておき、その面の上にカールさせたプラスチックシートを乗せ、カールさせていない側をテープで固定。これにより時間はセーブされ、また作業の個人差によるばらつきも減る。

90分は子ども達にとって決して短い時間ではない。スタッフの方の助言もあり、子ども達が飽きないように、少し話を聞いたらすぐに手を動かすといった具合に、「工作の合間に短い講義を挟む」という形式で全体を構成した。最後まで子ども達の興味や集中力をどのように持続させるかだけでなく、理解度や作業スピードの個人差をどのようにフォローするかも大きな課題となる。作業をしながら、子ども達が聞きたいときにすぐに質問できる体制、あるいは指導者側が様子を見守りつつ、彼らに適切な声かけ（アドバイス）が出来る環境を整える必要があり、アシスタントの協力は必須である。

一方で、進度の早い子ども達が飽きないような工夫も必要となる。楽器であれば、どの位置で「ド」「レ」「ミ」の音が出るのか？ 声道模型であれば、どの位置で「ア」「イ」「ウ」が発声できるのか？ 進度の早い子どもにはこのような高度な課題も有効である。



図-3 子ども達の様子。スライドホイッスルで演奏（左）、肺の模型を操作する（右）

工作活動を追ってみると、1) で「ストロー笛」を作り、実際に音を鳴らす。2) では「スライド部」を作り、1) で製作した「ストロー笛」を音源として接続、「スライドホイッスル」として演奏。3) では新たに「リード式音源」を作り、「スライドホイッスル」の発音部を取り替えて「声道模型」として母音を発してみる。一つひとつが立派なアクティビティとして完成しているが、組み合わせるとまた別の可能性が広がる“連鎖する工作”となっている。同じスライド部を用いて「楽器」と「声」の両方が実現できるように工夫を凝らした。少し条件が違うだけで、楽器にもなり声にもなるのはどうしてか？「何故だろう」と想像力を膨らませ、何かを感じとり、学びとって行って欲しい。そして願わくは、素朴な疑問や強い印象などが大人になってもずっと消えずに残ってほしい。科学に興味を持って研究を続ける者が出てきたり、ことばやコミュニケーションを大切に思う気持ちを培う一助となれば幸いである。

#### 4. おわりに

ふしぎだと思ふこと／これが科学の芽です／よく観察してたしかめ／そして考えること／これが科学の茎です／そうして最後になぞがとける／これが科学の花です（朝永振一郎）

上記は、京都市青少年科学センター所蔵の色紙に書かれた朝永振一郎の言葉である。科学教室などの体験は、子ども達が日常生活に「ふしぎの芽」を見つけたとき、間接的に力になれるはずである。小学校高学年から論理的な思考力も培われてくる頃だが、物事を筋道立てて考え、表現できる力（「茎」）はコミュニケーションの基本であり、生活のあらゆるところで生きてくるはずだ。

本稿では、小中学生に対する音響教育について述べてきた。3章で提案した「音の科学教室」の例は、私の専門である音声を中心に考えた一つのテーマにしか過ぎない。今後、このような「音の科学教室」は、音響学の各分野においていろいろと提案されていくべきであると考え。博物館・科学館との連携を続けていくと同時に、日本音響学会としても小学校・中学校の学習指導要領の中に、積極的に音に関する単元を取り扱っていただくよう働きかけていきたい。

#### 謝 辞

科学教室を開催するにあたり、ご協力いただきました国立科学博物館の皆様、特に前島正裕さんに心より感謝申し上げます。また、日本音響学会音響教育調査研究委員会の先生方や当日お手伝いをして下さった皆様にも、心より感謝を申し上げます。紹介した内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(16203041, 17500603, 19500758)、守谷育英会、サウンド技術振興財団および文部科学省私立大学学術研究化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報科学研究プロジェクト」から助成を得た。

#### 文 献

- [1] 小美濃芳喜, “科学教材の企画開発について,” 音響学会音響教育研究会資料, EDU-2007-05 (2007).  
 [2] 文部科学省, 平成 12 年度版科学技術白書 (2000).  
 [3] 文部科学省, 平成 13 年度版科学技術白書 (2001).  
 [4] 黒澤 明, 吉久光一, 荒井隆行, “初等中等教育の教科書「理科」に見られる音の教育内容についての考察,” 音響学会音響教育研究会資料, EDU-2007-08 (2007).

- [5] 吉久光一, “連載「音の博物館」にあたって,” 音響学会誌, 62, 899–900 (2006).  
 [6] 吉久光一, 東山三樹夫, 中村健太郎, 佐藤史明, “科学博物館の音に関する展示内容調査,” 音響学会音響教育調査研究委員会資料, EDU-2003-06 (2003).  
 [7] 上野佳奈子, “クントの実験による定在波の可視化,” 音響学会誌, 62, 116 (2007).  
 [8] 阪上公博, “パラボラ集音器,” 音響学会誌, 63, 239 (2007).  
 [9] 阪上公博, “伝声管,” 音響学会誌, 64 (2008 予定).  
 [10] 荒井隆行, “声道模型,” 音響学会誌, 63, 470 (2007).  
 [11] T. Arai, “The replication of Chiba and Kajiyama’s mechanical models of the human vocal cavity,” *J. Phonet. Soc. Jpn.*, 5(2), pp. 31–38 (2001).  
 [12] 静岡科学館る・く・る編, みる・さく・さわ—親子で楽しむ科学の実験— (エクスナレッジ, 東京, 2006).  
 [13] E. Koster, “The public value of science museums: Past, present and future,” 国立科学博物館 国際シンポジウム「連携・協働する博物館—教育機関との連携を中心に—」(2007).  
 [14] 縣 秀彦, “科学文化育成を目指して III: サイエンスショー「科学の鉄人」が目指すもの,” 第 20 回天文教育研究会集録, pp. 171–173 (2006).  
 [15] 前島正裕, “科学リテラシーの向上と博物館活動: 現場から,” 音響学会音響教育研究会資料, EDU-2007-06 (2007).  
 [16] K. Nakamura and S. Ueha, “A toy using vibrations,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 120, Pt. 2, 3071 (2006).  
 [17] 荒井隆行, “音に関する子ども向け科学教室の実例,” 音響学会音響教育研究会資料, EDU-2007-04 (2007).  
 [18] 岐阜物理サークル編, のらねこ先生の科学でいこう! (日本評論社, 東京, 2005).  
 [19] T. Arai, “Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 28, 190–201 (2007).  
 [20] T. Chiba and M. Kajiyama, *The Vowel, Its Nature and Structure* (Tokyo-Kaiseikan, Tokyo, 1942).  
 [21] T. Arai, “Sliding three-tube model as a simple educational tool for vowel production,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 27, 384–388 (2006).  
 [22] R.R. Riesz, “Description and demonstration of an artificial larynx,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 1, 273–279 (1930).